

Elektroniczne instrumenty muzyczne

SYNTEZA ADDYTYWNA

Wprowadzenie

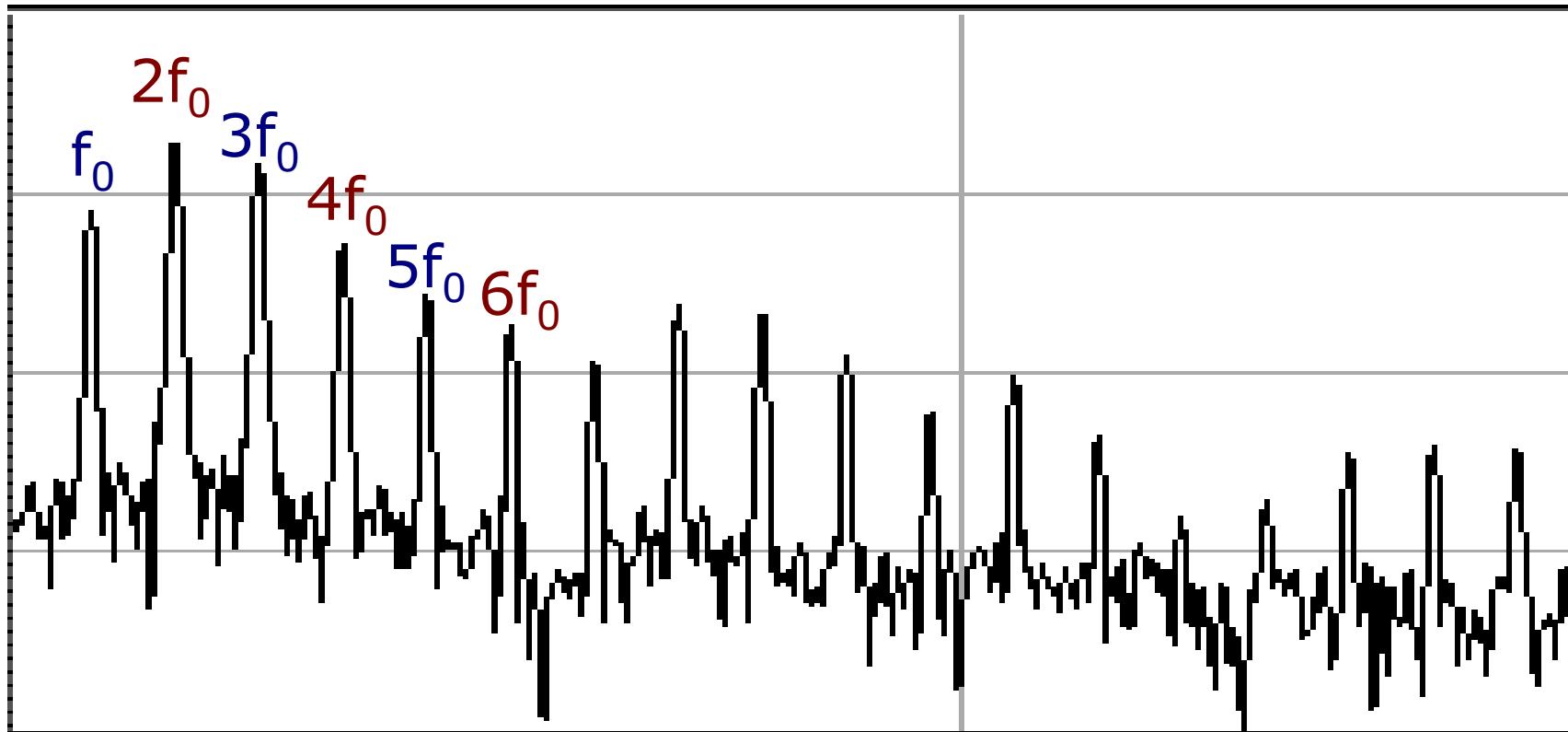
Synteza addytywna – *additive synthesis*
ang. *addition* – dodawanie (składowych widma)

Metoda opracowana w czasach analogowych, ale implementowana wyłącznie w wersji cyfrowej (sprzętowo i programowo).

Przewidziana do tworzenia nowych brzmień, w praktyce stosowana do naśladowania dźwięków rzeczywistych instrumentów.

Widma dźwięków muzycznych

Przykład dźwięku muzycznego o widmie harmonicznym prążkowym:



Wprowadzenie

Fourier: sygnał okresowy jest sumą sinusoid o odpowiednich częstotliwościach i amplitudach.

Widmo prążkowe dźwięku muzycznego można uzyskać poprzez zsumowanie sygnałów z wyjść generatorów sinusoidalnych.

W praktyce dźwięki muzyczne są harmoniczne: częstotliwości wyższych generatorów są wielokrotnościami częstotliwości generatora podstawowego.

Problem dynamicznego widma

Widmo dźwięków naturalnych zmienia się w czasie („ewoluuje”).

Widmo **statyczne** (dwuwymiarowe)

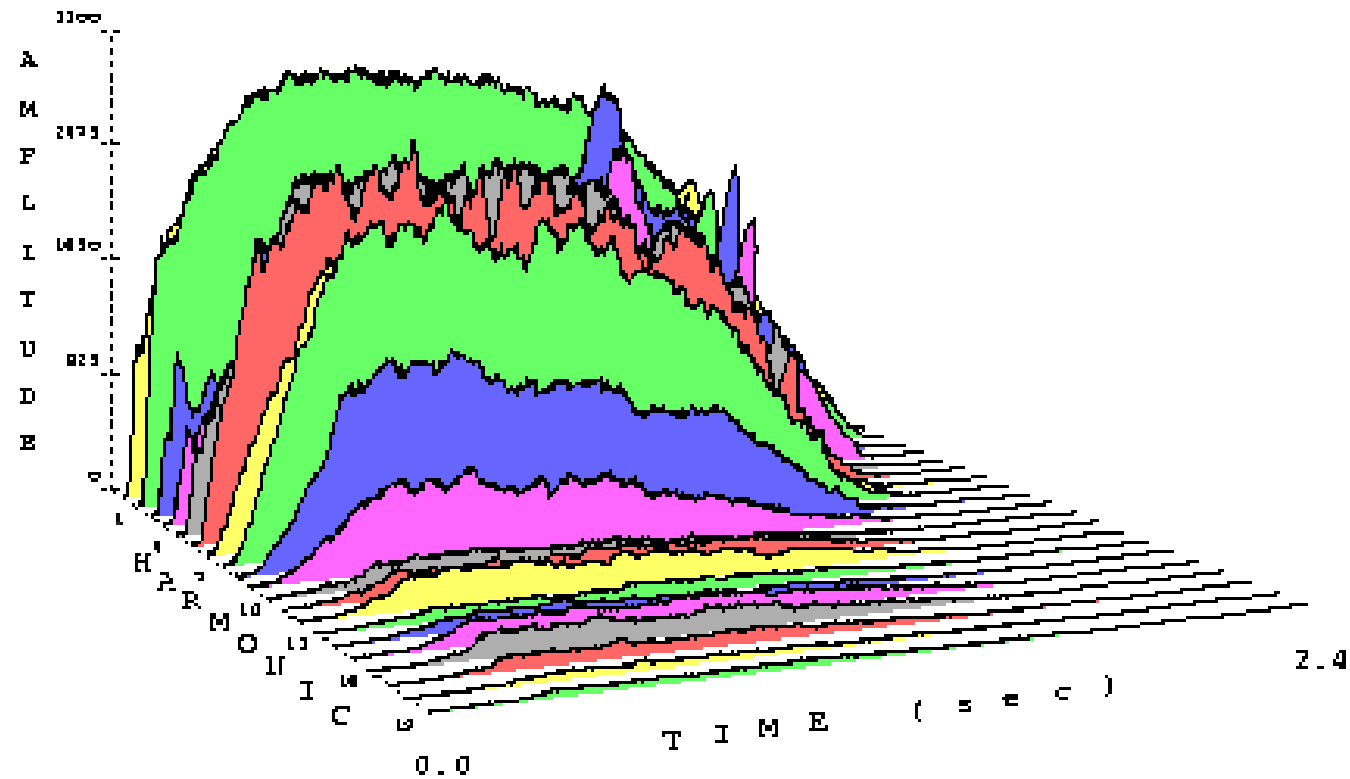
– obserwowane w określonym punkcie czasu.

Widmo **dynamiczne** (trójwymiarowe)

– przebieg czasowy zmian widma statycznego

Problem dynamicznego widma

Zmienność poziomu składowych w czasie



file ctptf4.an trumpet f4 mf base freq = 349.00 Hz

Opis matematyczny metody

$$x(n) = \sum_{k=1}^M A_k(n) \sin\{nT[k\omega_1 + 2\pi F_k(n)]\}$$

$x(n)$ – sygnał syntetyczny

T – okres próbkowania

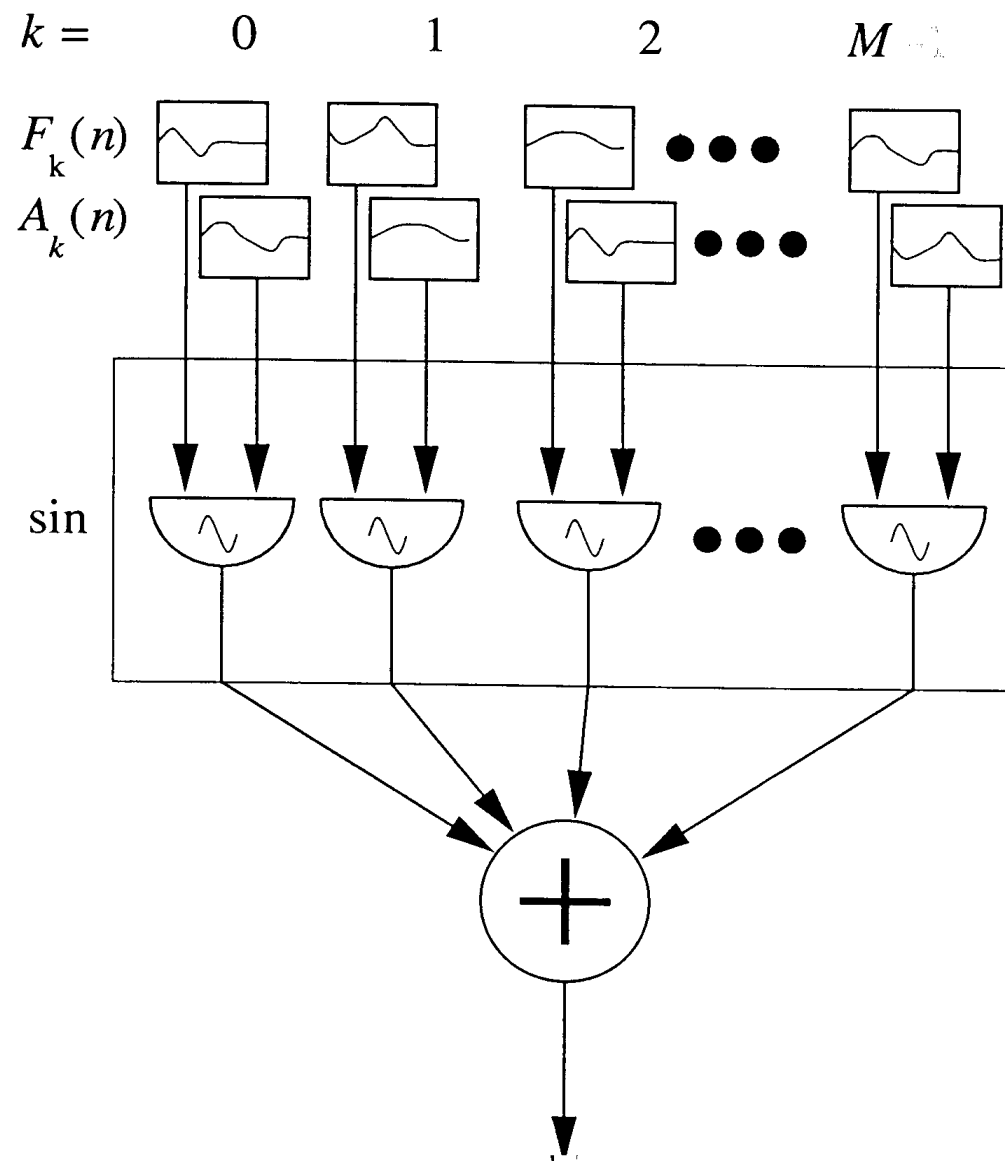
$A_k(n)$ – amplituda k -tej harmonicznej

$F_k(n)$ – odchyłka (dewiacja) częstotliwości
 k -tej harmonicznej

M – liczba składowych

ω_1 – pulsacja składowej podstawowej

Algorytm syntezy addytywnej



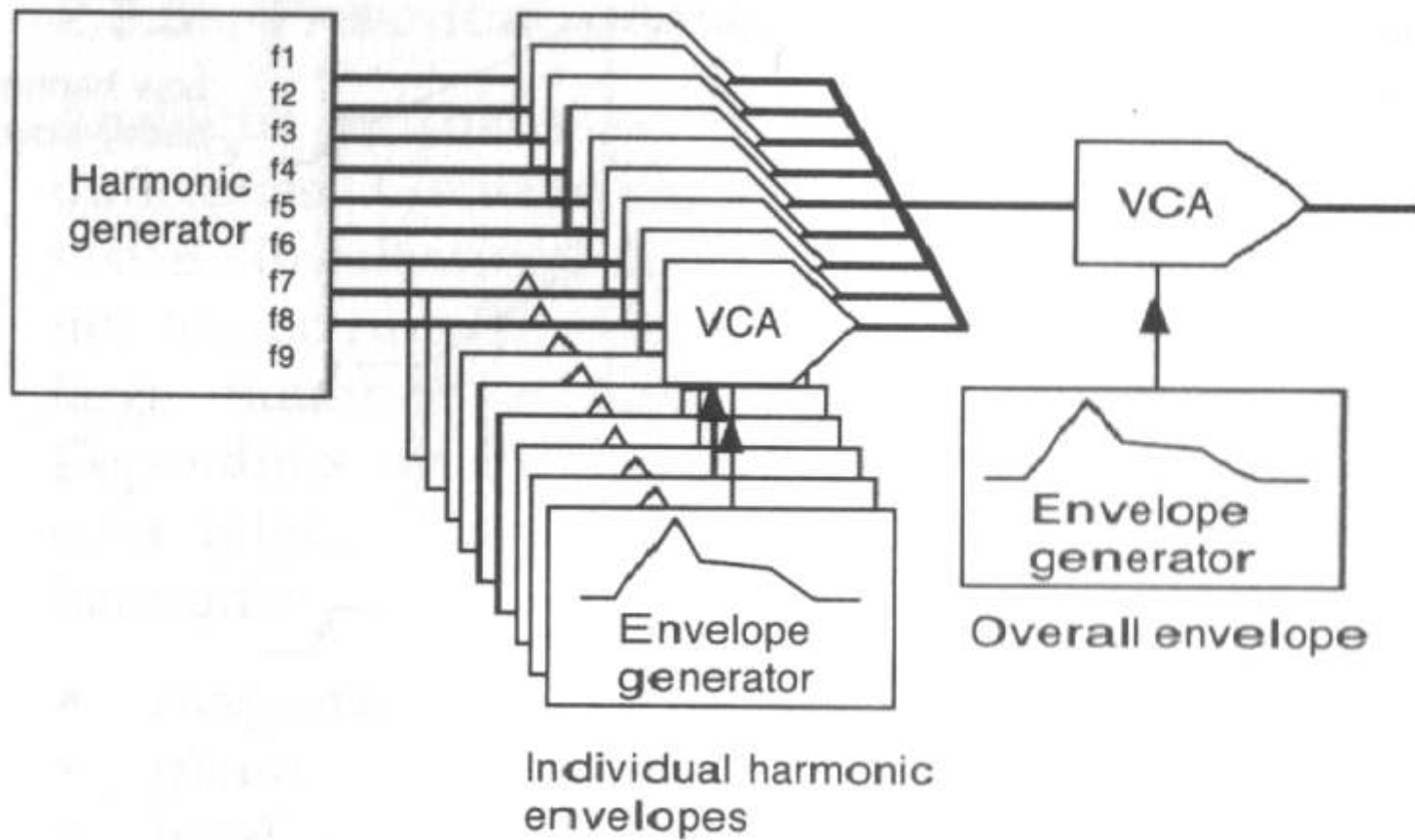
Proces syntezy addytywnej

Aby wygenerować dźwięk metodą addytywną należy dla każdego generatora podać funkcje opisujące:

- zmienność amplitudy sygnału,
- wahania częstotliwości (odchyłki od ustalonej częstotliwości).

Tworzenie dźwięku syntetycznego od podstaw jest zatem skomplikowane.

Schemat syntezy addytywnej



Budowa syntezy addytywnego

- generatory VCO – sterowanie częstotliwością; liczba VCO powinna odpowiadać liczbie harmonicznym (w prostszych rozwiązaniach – jeden generator i mnożniki)
- wzmacniacze VCA – dla każdej ze składowych; sterowanie amplitudami składowych przez EG
- generatory obwiedni EG – kształtowanie obwiedni amplitud składowych
- sumator i końcowy VCA
- końcowy EG – sterowanie wzmocnieniem (transjenty)

Parametry syntezy addytywnej

Najważniejsze parametry w syntezie addytywnej:

- liczba składowych harmoniczných
- amplitudy poszczególnych składowych w funkcji czasu
- częstotliwości poszczególnych składowych w funkcji czasu
- fazy poszczególnych składowych (rzadko wykorzystywane)

Parametry syntezy addytywnej

Wybór liczby składowych ma decydujący wpływ na:

- wierność brzmienia dźwięku syntetycznego,
- złożoność algorytmu analizy.

Konieczny jest tu kompromis.

Przyjmuje się, że dla zapewnienia dobrego dopasowania widma należy użyć od 32 do 64 składowych widma.

Problemy syntezy widma

Synteza widm harmonicznych – można zastosować jeden generator i mnożniki.

Problemy syntezy widma – jak można uwzględnić:

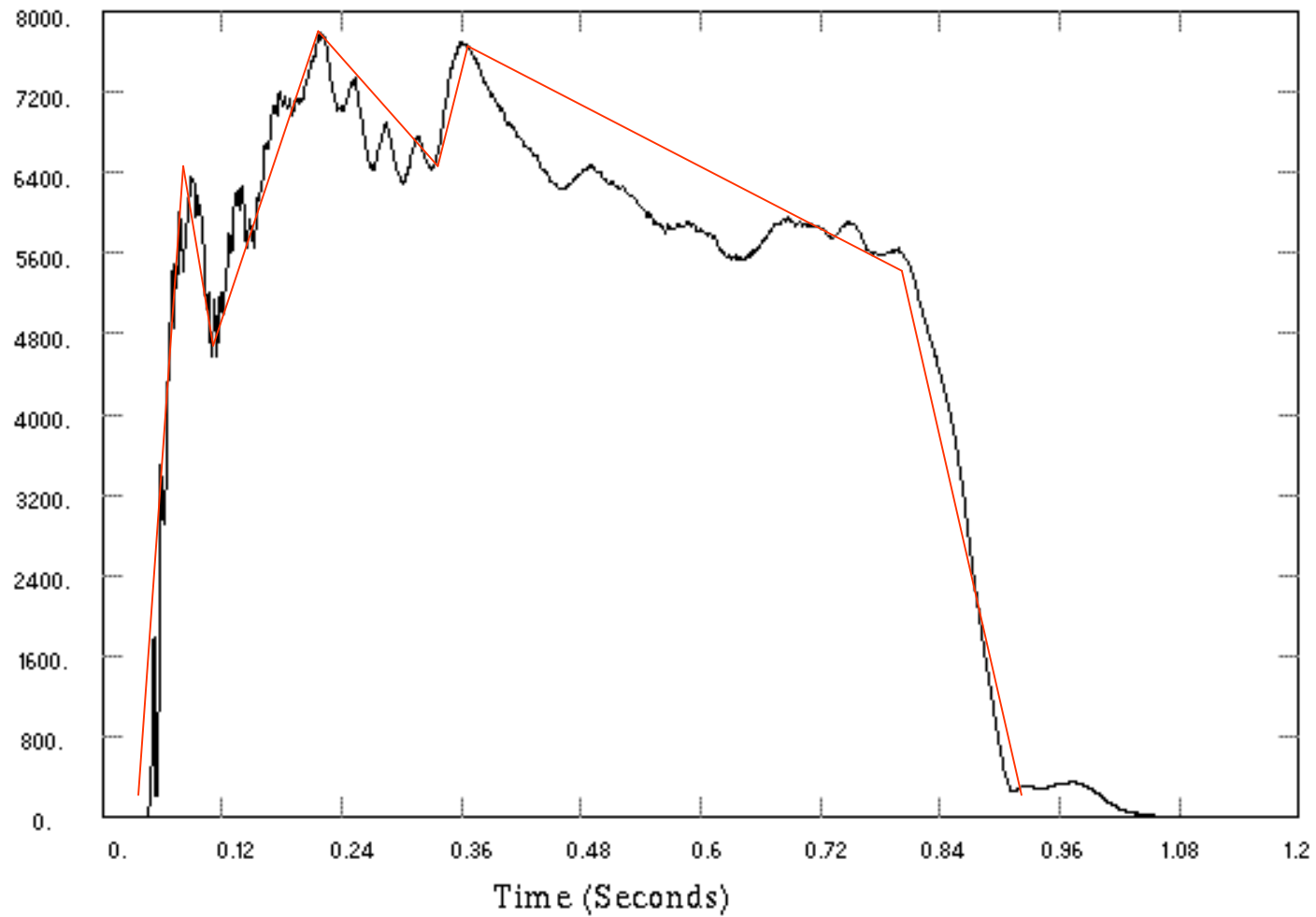
- szum,
- składowe nieharmoniczne,
- produkty modulacji, zdudnienia, itp.

Obwiednie składowych

Obwiednie poszczególnych składowych mają skomplikowane kształty – trudna kontrola.

- Rozwiązanie uproszczone: obwiednia ADSR
- Bardziej złożone: kształt obwiedni aproksymowany jest za pomocą krzywych łamanych
- Próby kontrolowania obwiedni np. za pomocą rysowania piórem świetlnym po ekranie (*Fairlight*) – zbyt skomplikowane i niedokładne

Obwiednie składowych



Metoda grupowa

Synteza addytywna wymaga kontrolowania obwiedni wszystkich generatorów.

W celu zmniejszenia liczby elementów kontroli można zastosować grupowanie obwiedni, np.:

- grupa 1 – obwiednie składowych nieparzystych
- grupa 2 – obwiednie składowych parzystych

Uproszczona kontrola: regulacja tylko dwóch zestawów parametrów obwiedni, dla dwóch grup.

(Re)synteza addytywna

Parametry do syntezy można uzyskać analizując nagrane dźwięki muzyczne.

Analiza

wyodrębnienie parametrów dźwięku na podstawie analizy dynamicznego widma dźwięku

Resynteza

synteza dźwięku w oparciu o uzyskane wcześniej parametry

Możliwe jest uzyskanie sygnału syntetycznego o określonym widmie dynamicznym, a więc o określonym z góry brzmieniu.

Metody analizy

Dwie najczęściej stosowane metody analizy widma dźwięku

PV – *Phase Vocoder*

- zastosowanie banku filtrów
- analiza dźwięków o widmie harmonicznym

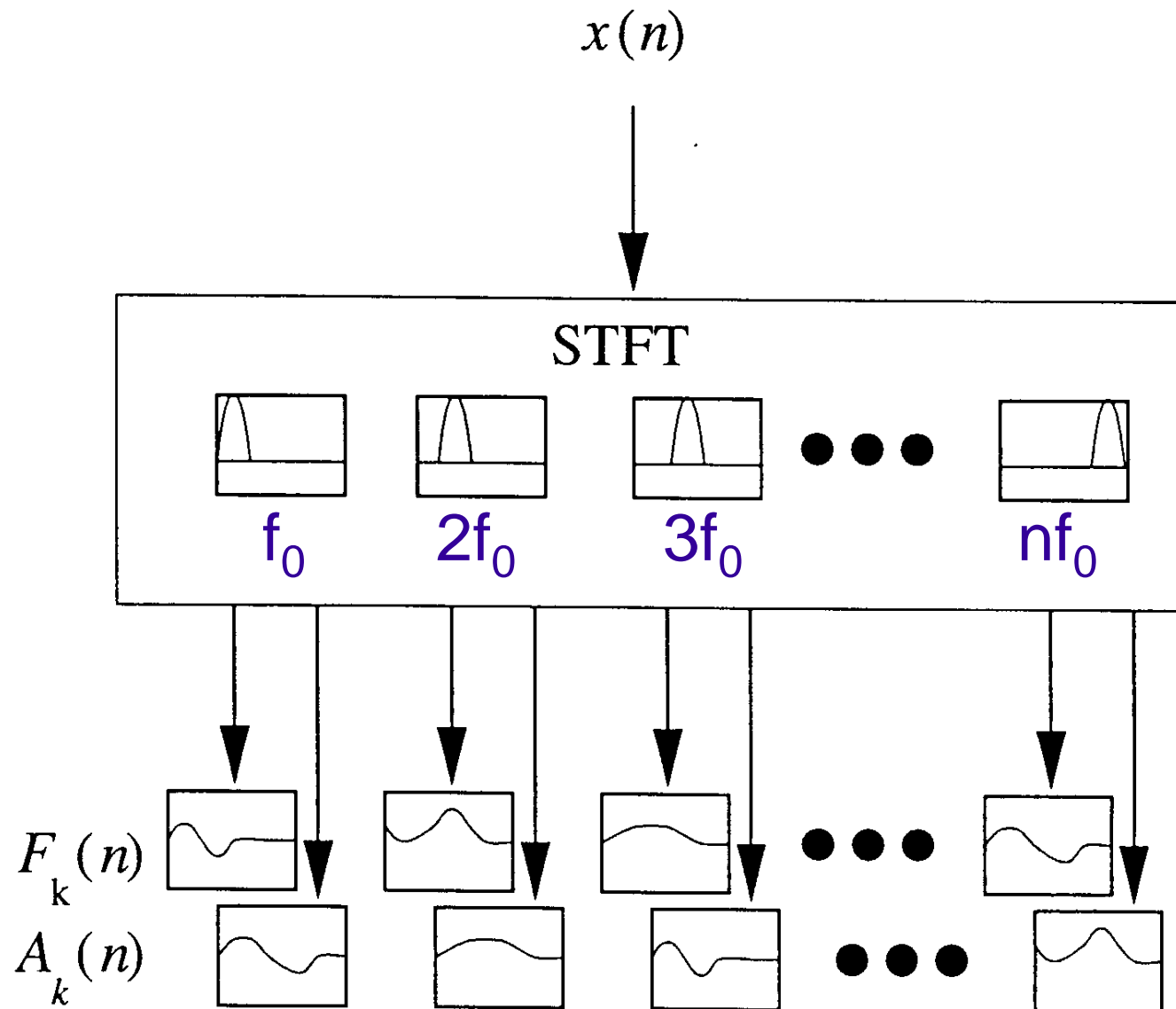
MQ – *McAulay Quatieri* (1986)

- modelowanie sinusoidalne
- analiza dźwięków o dowolnym widmie

Metoda PV

- Metoda PV (*Phase Vocoder*) nadaje się do syntezy dźwięków o widmie harmonicznym.
- Wymagana jest znajomość częstotliwości podstawowej dźwięku – trzeba ją podać albo wyznaczyć.
- Algorytm analizy „dostraja się” do częstotl. kolejnych składowych harmonicznym i analizuje ich przebieg czasowy.
- Metoda PV dobrze nadaje się do analizy widm harmonicznym, stabilnym w czasie.

Metoda PV - analiza

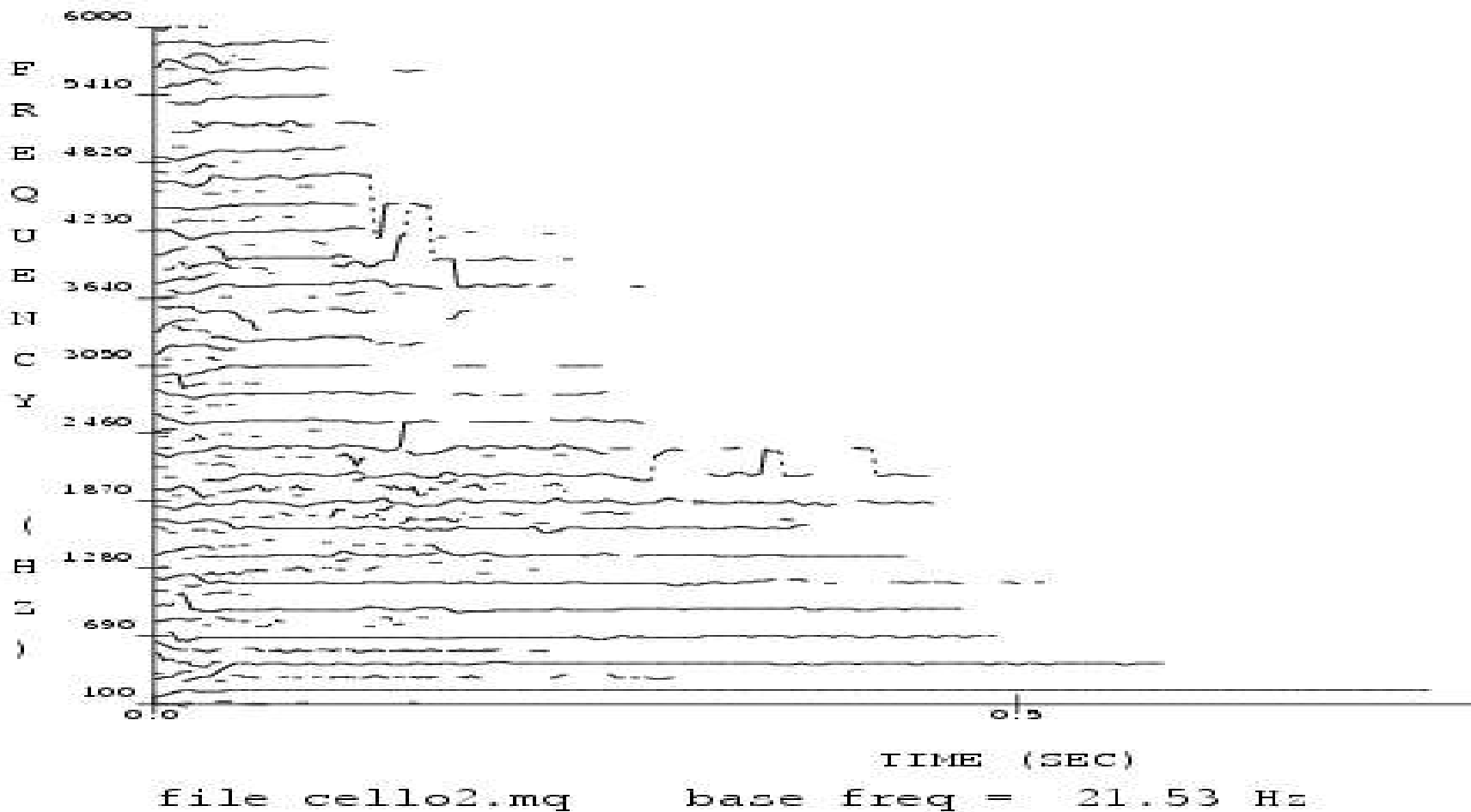


Metoda MQ

- Metoda MQ pozwala na analizę i resyntezę dźwięków o **dowolnym** widmie, również nieharmonicznym.
- Metoda polega na analizie sygnału w ramkach czasowych i śledzeniu maksimów widma w kolejnych ramkach.
- Maksima występujące w kilku kolejnych ramkach tworzą **ścieżki analizy**.
- Metoda MQ jest bardziej złożona obliczeniowo niż PV, ale pozwala na analizę widm nieharmonicznych i nie wymaga znajomości częstotliwości podstawowej.

Metoda MQ - przykład analizy

Ścieżki uzyskane w analizie MQ



Dodatkowe możliwości metody

Resynteza metodą addytywną pozwala również na dokonanie pewnych operacji przetwarzania sygnału, np.:

- transpozycja dźwięku (zmiana wysokości),
- wydłużanie i skracanie dźwięku,
- usuwanie niepotrzebnych składowych MQ (kryterium czasu trwania ścieżki i amplitudy)
- usuwanie szumu (MQ).

Transpozycja nie powoduje zniekształceń czasowych, które występują w samplingu.

Metoda addytywna a sampling

Wykorzystanie metody addytywnej do „samplingu”:

- analiza próbki dźwięku – wyznaczenie przebiegu harmoniczných
- przetwarzanie wyników analizy
- resynteza – wytworzenie metodą addytywną dźwięku syntetycznego odpowiadającego dźwiękowi wejściowemu

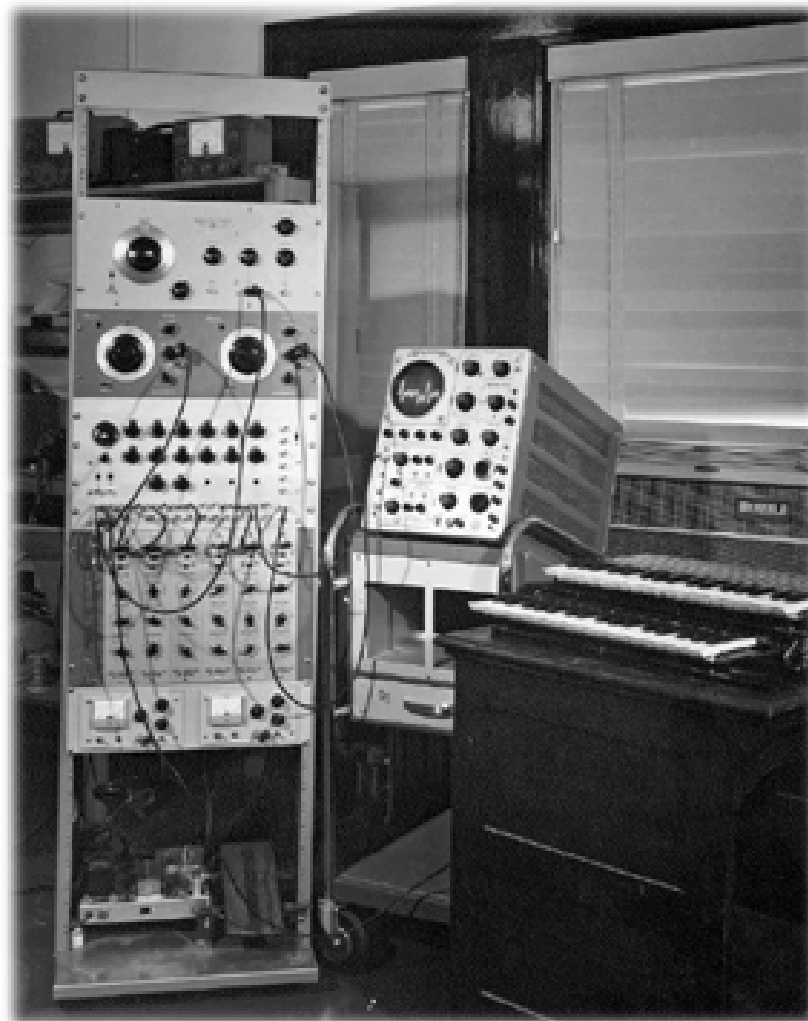
Zalety:

- możliwość przetwarzania sygnału,
- kompresja (oszczędny zapis parametrów)

Instrumenty addytywne

Próby implementacji analogowej: **syntezator Beauchampa (1964)**

- generowanie 6 harmoniczných
- sterowanie obwiedniami
- skomplikowana obsługa
- niestabilność częstotliwości



Instrumenty addytywne

- Wiele instrumentów nazywanych „addytywnymi” wykonuje uproszczoną syntezę
- Sygnał wejściowy: suma sinusów o ustalanych przez użytkownika amplitudach (generator harmonicznym – *harmonic generator*)
- Taki sygnał jest poddawany przetwarzaniu (filtracji, modulacji)
- To jest w rzeczywistości synteza subtraktywna
- „Prawdziwa” synteza addytywna: kontrolowanie obwiedni każdej składowej widmowej

Instrumenty addytywne

RMI Harmonic Synthesizer (1974)

- instrument monofoniczny
- dwa cyfrowe generatory
- 16 harmoniczných ustawianých suwakami
- analogowe przetwarzanie



Instrumenty addytywne

Synclavier (1979)

- instrument cyfrowy
- wiele metod (FM, addytywne, sampling)
- ograniczona metoda addytywna:
 - 24 ustalone harmoniczne na głos,
 - dynamiczne obwiednie widma

Instrumenty addytywne

Kurzweil K150 (1986)

- cyfrowa synteza addytywna
- 240 generatorów
- kontrolowanie każdej harmoniczej (komputer)



Kawai K5 (1987)

- cyfrowa synteza addytywna
- do 126 kontrolowanych harmoniczych
- trudny interfejs



Instrumenty addytywne

Kawai K5000 (1996)

- zaawansowana dźwiękowa stacja robocza
- synteza addytywna połączona z samplowaniem
- zaawansowane możliwości regulowania parametrów syntezy
- trudna obsługa w porównaniu z syntezatorami programowymi



Instrumenty addytywne

Synteza programowa (wybór):

- Camel Studio Alchemy
- Image-Line Morphine
- VirSyn Cube
- White Noise WNAdditive



Zalety metody addytywnej

- Możliwość kontrolowanego tworzenia dźwięku od podstaw
- Możliwość bezpośredniego wpływania na widmo dźwięku
- Duża wierność brzmienia dźwięku syntetycznego – dopasowanie widma
- Możliwość resyntezy na podstawie analizy dźwięków muzycznych, z przetwarzaniem
- Teoretycznie, metoda pozwala zarówno naśladować brzmienia jak i tworzyć nowe

Wady metody addytywnej

- Skomplikowana obsługa (duża liczba elementów sterujących), jeżeli chcemy samodzielnie tworzyć dźwięk.
- Naśladowanie instrumentów: samplery robią to w mniej skomplikowany sposób (choć powodują zniekształcenia dźwięku).

Literatura

- SPEAR - Sinusoidal Partial Editing Analysis and Resynthesis: <http://www.klingbeil.com/spear/>
- M.K. Klingbeil: *Spectral Analysis, Editing and Resynthesis: Methods and Applications*. Columbia Univ. 2009 (dostępne ze strony SPEAR)
- R.J. McAulay, T.F. Quatieri: *Speech Analysis/Synthesis Based on A Sinusoidal Representation*. IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. ASSP-34, no. 4, Aug. 1986, pp. 744-754.
- M. Russ: *Sound Synthesis and Sampling*. Focal Press, Oxford 1996.
- Vintage Synthe Explorer: www.vintagesynth.com
- Wikipedia (wersja angielska)